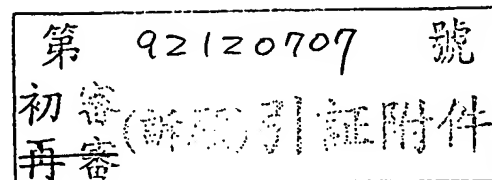


## MULTILAYER REFLECTION MIRROR AND EUV EXPOSURING DEVICE

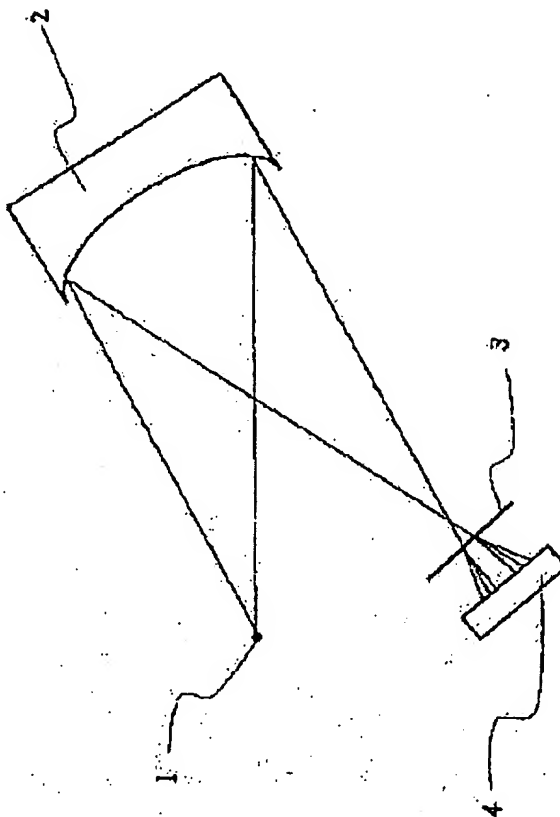
Patent number: JP2002131489  
Publication date: 2002-05-09  
Inventor: MURAKAMI KATSUHIKO  
Applicant: NIKON CORP  
Classification:  
- International: G21K1/06; G01B11/24; G02B5/10; G21K5/02; H01L21/027  
- european:  
Application number: JP20000321030 20001020  
Priority number(s):



## Abstract of JP2002131489

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately obtain necessary quantities with a measuring method for the shape of reflection wave front by removing only necessary quantity of multilayer film surface for specifically shaping the reflection surface of a multilayer reflection mirror.

**SOLUTION:** The wavelength of light used in the measurement is set to be that practically used by introducing in the multilayer film reflection mirror. Using a diffraction element in a measurement system as an optical element performs the measurement.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-131489

(P2002-131489A)

(43) 公開日 平成14年5月9日(2002.5.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

タームコード(参考)

G 2 1 K 1/06

G 2 1 K 1/06

D 2 F 0 6 5

B 2 H 0 4 2

C 5 F 0 4 6

G

G 0 1 B 11/24

G 0 2 B 5/10

C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-321030(P2000-321030)

(22) 出願日 平成12年10月20日(2000.10.20)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100100413

弁理士 渡部 温 (外1名)

Fターム(参考) 2F065 AA53 CC18 CC19 CC21 CC31

FF52 GG04 JJ03 JJ26 LL19

LL30 LL42

2H042 DC00 DD05 DE00

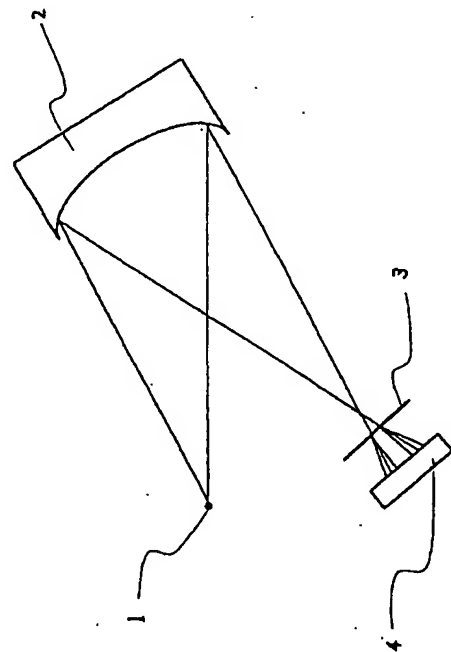
5F046 GB01

(54) 【発明の名称】 多層膜反射鏡およびEUV露光装置

(57) 【要約】

【課題】 多層膜反射鏡の反射面を所定の形状にするために多層膜表面を必要な量だけ除去する方法があるが、通常の可視光を用いた反射波面の形状の測定方法では精度良く必要な量を求めることが出来なかった。

【解決手法】 測定に用いる光の波長を実際に多層膜反射鏡に入射して使用する波長とした。また、測定系には光学素子として回折素子を用いて行う事とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層対ずつの単位で除去する多層膜反射鏡の製造方法であって、多層膜反射鏡の使用波長で反射波面形状を測定して、その測定結果から、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法。

【請求項2】 軟X線光学系に組み込まれる多層膜反射鏡の製造方法であって、反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層対ずつの単位で除去する多層膜反射鏡の製造方法において、該光学系に多層膜反射鏡を組み込んだ状態で、使用波長により光学系の透過波面形状を測定して、その測定結果から、多層膜反射鏡の、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法。

【請求項3】 請求項1又は2に記載の多層膜反射鏡の製造方法であって、回折型の光学素子を用いた方法で反射又は透過波面形状を測定することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法。

【請求項4】 請求項3に記載の多層膜反射鏡の製造方法であって、シャリング干渉法、FDI法、フーコーテスト、ロンキーテスト、ハルトマン法のいずれかを用いて反射又は透過波面形状を測定することを特徴とする、多層膜反射鏡の製造方法。

【請求項5】 反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層対ずつの単位で除去して多層膜反射鏡を製作し、これらの複数の多層膜反射を組み合わせる軟X線光学系の製造方法であって、該光学系を組み立てた状態で、使用波長により光学系の透過波面形状を測定して、その測定結果から、各々の多層膜反射鏡の、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする軟X線光学系の製造方法。

【請求項6】 請求項5に記載の軟X線光学系の製造方法であって、回折型の光学素子を用いた方法で透過波面形状を測定することを特徴とする軟X線光学系の製造方法。

【請求項7】 請求項6に記載の軟X線光学系の製造方法であって、シャリング干渉法、FDI法、フーコーテスト、ロンキーテスト、ハルトマン法のいずれかを用いて透過波面形状を測定することを特徴とする、軟X線光学系の製造方法。

【請求項8】 請求項1乃至4のいずれかに記載された多層膜反射鏡製造方法によって製造された多層膜反射鏡であって、多層膜は、モリブデンを含む層とシリコンを含む層からなることを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項9】 請求項1乃至4のいずれかに記載された多層膜反射鏡製造方法によって製造された多層膜反射鏡、又は請求項8記載の多層膜反射鏡であって、前記所定の周期長が6 nmから12 nmであることを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項10】 請求項1乃至4、又は請求項8又は9のいずれかに記載の多層膜反射鏡を用いて構成されたことを特徴とする軟X線光学系。

【請求項11】 請求項5乃至7のいずれかに記載された軟X線光学系の製造方法であって、前記二種類の物質がモリブデンとシリコンを含むことを特徴とする軟X線光学系の製造方法。

【請求項12】 請求項5乃至7のいずれかに記載された軟X線光学系の製造方法であって、前記所定の周期長が6 nmから12 nmであることを特徴とする軟X線光学系の製造方法。

【請求項13】 請求項5乃至7のいずれかに、又は請求項11乃至12のいずれかに記載の製造方法により製造された軟X線光学系、または請求項10記載の軟X線光学系を備えたことを特徴とする軟X線露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体デバイスなどの製造に用いられる軟X線投影露光装置およびその他の軟X線光学機器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化の進展に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わって、これより波長の短い波長11～14nm程度の軟X線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。（例えば、D. Tichenor, et al., SPIE 2437 (1995) 292参照）この技術は、最近ではEUV (Extreme UltraViolet: 極紫外線) リソグラフィとも呼ばれているが、その内容は同一である。（以下、EUVリソグラフィと呼ぶ。）EUVリソグラフィは、従来の光リソグラフィ（波長190nm程度以上）では実現不可能な、70nm以下の解像力を有する将来のリソグラフィ技術として期待されている。

【0003】この波長域では物質の屈折率が1に非常に近いので、屈折や反射を利用した従来の光学素子は使用できない。屈折率が1よりも僅かに小さいことによる全反射を利用した斜入射ミラーや、界面での微弱な反射光を位相を合わせて多数重畳させて、全体として高い反射率を得る多層膜ミラーなどが使用される。13.4nm付近の波長域では、モリブデン (Mo) 層とシリコン (Si) 層を交互に積層したMo/Si多層膜を用いると直入射で67.5%の反射率を得ることが出来、波長11.3nm付近の波長域では、Mo層とベリリウム (Be) 層を交互に積層したMo/Be多層膜を用いると直入射で70.2%の反射率を得ることが出来る。（例えば、C. Montcalm, Proc.SPIE, Vol. 333

1 (1998) P. 42参照。)

【0004】EUVリソグラフィ装置は、主として軟X線光源、照明光学系、マスクステージ、結像光学系、ウェハステージ等により構成される。軟X線光源には、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源や放射光などが使用される。照明光学系は、反射面に斜め方向から入射した軟X線を反射させる斜入射ミラー、反射面が多層膜により形成される多層膜ミラー、および所定の波長の軟X線のみを透過させるフィルター等により構成され、フォトマスク上を所定の波長の軟X線で照明する。なお、軟X線の波長域では透明な物質は存在しないので、フォトマスクには従来の透過型のマスクではなく反射型のマスクが使用される。フォトマスク上に形成された回路パターンは、複数の多層膜ミラー等で構成された投影結像光学系により、フォトレジストが塗布されたウェハ上に結像して該フォトレジストに転写される。なお、軟X線は大気中に吸収されて減衰するため、その光路は全て所定の真空度（例えば、 $1 \times 10^{-9}$  Torr以下）に維持されている。

【0005】投影結像光学系は複数の多層膜ミラーにより構成される。多層膜ミラーの反射率は100%ではないので、光量の損失を抑えるためにミラーの枚数は出来るだけ少なくすることが好ましい。これまでに、4枚の多層膜ミラーからなる光学系（例えば、T. Jewell and K. Thompson, USP 5,315,629、T. Jewell, USP 5,063,586参照）や、6枚の多層膜ミラーからなる光学系（例えば、D. Williamson, 特開平9-211332、USP 5,815,310参照）などが報告されている。光束が一方向に進行する屈折光学系と異なり、反射光学系では光学系の中で光束が往復することになるので、ミラーによる光束のけられを避けるという制限のために、NAを大きくすることが難しい。4枚光学系では開口数（NA）を0.15程度までにしか出来ないが、6枚光学系では更にNAの大きい光学系の設計が可能になる。マスクステージとウェハステージが投影結像光学系の両側に配置できるように、ミラーの枚数は通常は偶数になっている。このような投影結像光学系は、限られた面数で光学系の収差を補正しなければならないので、各ミラーには非球面形状が適用され、また、所定の像高の近傍でのみ収差の補正されたリングフィールド光学系になっている。フォトマスク上のパターン全体をウェハ上に転写するためには、マスクステージとウェハステージとを、光学系の倍率分だけ異なる速度でスキャンさせながら露光を行う。

【0006】上記のような露光装置の投影結像光学系は、いわゆる回折限界の光学系であり、波面収差を充分に小さくしておかないと設計通りの性能を得ることは出来ない。回折限界の光学系における波面収差の許容値の目安としては、Marechalによる、二乗平均値（RMS）で、使用波長の $1/14$ 以内という基準がある。（M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, 4th edition, Pergam

on Press 1970, p. 469参照）これはStrehl強度（収差のある光学系と無収差光学系との間の点像強度の最大値の比）が80%以上になるための条件である。実際の露光装置の投影結像光学系は、これよりも更に低い収差になるように製造されている。

【0007】現在盛んに研究開発が行われているEUVリソグラフィ技術においては、露光波長は主として13nmあるいは11nm付近の波長が使われている。光学系の波面収差（WFE）に対して、個々のミラーに許容される形状誤差（FE）は次式で与えられる。

$$(数式1) \quad FE = WFE / 2 / \sqrt{n} \text{ (RMS)}$$

$n$ は光学系を構成するミラーの数であり、更に2で割るのは、反射光学系では入射光と反射光の両方がそれぞれ形状誤差の影響を受けるので、波面収差には形状誤差の2倍の誤差が乗るからである。結局、回折限界の光学系において、個々のミラーに許容される形状誤差（FE）は波長 $\lambda$ とミラーの枚数 $n$ に対して次式で与えられる。

$$(数式2) \quad FE = \lambda / 28 / \sqrt{n} \text{ (RMS)}$$

この値は、波長13nmでは4枚のミラーで構成された光学系の場合0.23nmRMSとなり、6枚のミラーで構成された光学系の場合0.19nmRMSとなる。

【0008】しかしながら、このような高精度の非球面形状のミラーを製造することは非常に困難であり、EUVリソグラフィがなかなか実用化できない第一の原因となっている。現在までに達成されている非球面の加工精度は0.4~0.5nmRMSの程度であり（C. Gwyn, Extreme Ultraviolet Lithography White Paper, EUV LLC, 1998, p17参照）、EUVリソグラフィを実現するためには非球面の加工技術および計測技術の大幅な向上が必要とされている。

【0009】最近、山本によって多層膜ミラーの表面を一層ずつ削り取ることによって、実質的にサブnmの形状誤差を補正することのできる画期的な技術が報告された。（M. Yamamoto, 7th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, Berlin Germany, August 21-25, 2000, POS2-189）図2をもって、その原理を説明する。図2(a)に示すようにA、B二種類の物質を一定の周期長 $d$ で交互に積層した多層膜の表面から、図2(b)に示すように一層対を除去する場合を考える。図2(a)で、多層膜表面に対して垂直方向に進行する光線に対する、厚さ $d$ の多層膜一層対の光路長は、 $OP = n_A d_A + n_B d_B$ で与えられる。ここで $d_A, d_B$ は各層の厚さを表し、 $d_A + d_B = d$ である。 $n_A, n_B$ は物質A、Bそれぞれの屈折率である。図2(b)で、最表面の多層膜一層対を除去した厚さ $d$ の部分の光路長は、 $OP' = nd$ で与えられる。 $n$ は真空の屈折率を表し、 $n=1$ である。多層膜の最上層を除去することによって、そこを通過する光線が進む光学的距離が変化することになる。これは、実質的にその変化分だけ面形状を修正したと光学的に等価ある。光路長の変化（即ち、面形状の変化）は、 $\Delta = OP' - OP$ で与えられ

る。軟X線の波長域では、物質の屈折率が1に近いので、 $\Delta$ は小さな量となり、本方法により精密な面形状の補正が可能になる。

【0010】具体例として、波長13.4nmでMo/Si多層膜を用いた場合を示す。直入射で使用するために、 $d=6.8\text{nm}$ 、 $d_{\text{Mo}}=2.3\text{nm}$ 、 $d_{\text{Si}}=4.5\text{nm}$ とする。この波長での屈折率は、 $n_{\text{Mo}}=0.92$ 、 $n_{\text{Si}}=0.998$ である。これらの数値を用いて光路長の変化を計算すると、 $OP=6.6\text{nm}$ 、 $OP'=6.8\text{nm}$ 、 $\Delta=0.2\text{nm}$ となる。厚さ6.8nmの層を除去する加工によって、0.2nm相当の面形状の補正を行うことが出来る。なお、Mo/Si多層膜の場合、Si層の屈折率が1に近いので、光路長の変化は主としてMo層の有無によるものであり、Si層の有無には殆ど依存しない。従って、多層膜の層を除去する際に、Si層の厚さを正確に制御する必要はない。この例ではSi層の厚さは4.5nmあり、この層の途中で加工が停止すれば良い。即ち、数nmの精度の加工を施すことによって0.2nm単位の面形状補正を行うことが出来る。なお、多層膜の反射率は積層数とともに増加して一定の層数を越えると飽和して一定になる。予め反射率が飽和するのに十分な層数を積層しておけば、表面から多層膜の一部を除去しても反射率の変化は生じない。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】この方法は非常に有効であるが、必要な補正量を予め厳密に求めておく必要がある。面形状を精密に測定するためには、He-Neレーザーなどの可視光を用いたフィゾー型などの干渉計が従来から広く使われているが、その測定精度は必ずしも充分ではない。また、一度多層膜の表面を部分的に除去して再度面形状を測定しようとする、可視光に対する反射波面形状と使用波長の軟X線に対する反射波面形状とは、もはや同一ではないので、従来の可視光を用いた干渉計では測定することは出来ない。

【0012】本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、多層膜の表面層を除去して多層膜ミラーの面形状を補正する技術において、従来よりも正確に補正除去量を求めることを可能にするとともに、補正後の反射波面形状を測定可能にすることを目標とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、そのために本発明は第一に「反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層ずつの単位で除去する多層膜反射鏡の製造方法であって、多層膜反射鏡の使用波長で反射波面形状を測定して、その測定結果から、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法（請求項1）」を提供する。このように使用する波長を用いて面形状を測定することにより、面形状の補正に必要な情報が正確に得られる。

【0014】第2に、「軟X線光学系に組み込まれる多層膜反射鏡の製造方法であって、反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層ずつの単位で除去する多層膜反射鏡の製造方法において、該光学系に多層膜反射鏡を組み込んだ状態で、使用波長により光学系の透過波面形状を測定して、その測定結果から、多層膜反射鏡の、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法（請求項2）」を提供する。これにより、光学系全体から見ら補正量が求められるので、正確な補正が速く行える。

【0015】第3に「請求項1又は2に記載の多層膜反射鏡の製造方法であって、回折型の光学素子を用いた方法で反射又は透過波面形状を測定することを特徴とする多層膜反射鏡の製造方法（請求項3）」を提供する。これによりビームスプリッタのような波面分割を要する光学素子が使用できない領域での波面形状の測定が可能になる。

【0016】第4に「請求項3に記載の多層膜反射鏡の製造方法であって、シャリング干渉法、PDI法、フーコーテスト、ロンキーテスト、ハルトマン法のいずれかを用いて反射又は透過波面形状を測定することを特徴とする、多層膜反射鏡の製造方法（請求項4）」を提供する。これにより、簡単な装置構成で、高精度な測定が可能になる。

【0017】第5に、「反射面に屈折率の異なる二種類の物質を交互に所定の周期長で積層して多層膜を形成し、反射波面の位相を補正するために多層膜を表面からおよそ一層ずつの単位で除去して多層膜反射鏡を製作し、これらの複数の多層膜反射を組み合わせる軟X線光学系の製造方法であって、該光学系を組み立てた状態で、使用波長により光学系の透過波面形状を測定して、その測定結果から、各々の多層膜反射鏡の、反射面内の各位置での除去量を算出することを特徴とする軟X線光学系の製造方法（請求項5）」を提供する。これにより、高精度な軟X線光学系が得られる。

【0018】第6に、「請求項5に記載の軟X線光学系の製造方法であって、回折型の光学素子を用いた方法で透過波面形状を測定することを特徴とする軟X線光学系の製造方法（請求項6）」を提供する。

【0019】第7に、「請求項6に記載の軟X線光学系の製造方法であって、シャリング干渉法、PDI法、フーコーテスト、ロンキーテスト、ハルトマン法のいずれかを用いて透過波面形状を測定することを特徴とする、軟X線光学系の製造方法（請求項7）」を提供する。

【0020】第8に、「請求項1乃至4のいずれにか記載された多層膜反射鏡製造方法によって製造された多層膜反射鏡であって、多層膜は、モリブデンを含む層とシリコンを含む層からなることを特徴とする多層膜反射鏡

(請求項8)」を提供する。これらの物質は安価であり、また耐久性にも優れ、更に安全性の高いあり、安価で優れた多層膜反射鏡が得られる。

【0021】第9に、「請求項1乃至4のいずれにか記載された多層膜反射鏡製造方法によって製造された多層膜反射鏡、又は請求項8記載の多層膜反射鏡であって、前記所定の周期長が6nmから12nmであることを特徴とする多層膜反射鏡。(請求項9)」を提供する。これによって、波長領域が12nmから15nmの領域の光線に対して、入射角が45度程度であっても高反射率を有する多層膜反射鏡が得られる。

【0022】第10に、「請求項1乃至4、又は請求項8又は9のいずれにか記載の多層膜反射鏡を用いて構成されたことを特徴とする軟X線光学系。(請求項10)」を提供する。

【0023】第11に、「請求項5乃至7のいずれにか記載された軟X線光学系の製造方法であって、前記二種類の物質がモリブデンとシリコンを含むことを特徴とする軟X線光学系の製造方法(請求項11)」を提供する。

【0024】第12に、「請求項5乃至7のいずれにか記載された軟X線光学系の製造方法であって、前記所定の周期長が6nmから12nmであることを特徴とする軟X線光学系の製造方法(請求項12)」を提供する。これにより、分解能に優れた軟X線光学系が得られる。

【0025】第13に、「請求項5乃至7のいずれにか、又は請求項11乃至12のいずれにか記載の製造方法により製造された軟X線光学系、または請求項10記載の軟X線光学系を備えたことを特徴とする軟X線露光装置(請求項13)」を提供する。これにより、最小線幅が70nm以下の半導体素子の製造が可能になる。

【0026】

【発明の実施の形態】本発明では、多層膜反射鏡の使用波長で反射波面を測定して補正量を決定する。図15により、面形状補正の手順を説明する。測定した反射波面の二次元的形状を、例えば図15(a)に示すような等高線図で表現する。このとき、等高線の間隔を、多層膜を一層除去したときの面形状の補正量 $\Delta$ としておく。例えば、従来の技術で説明した波長13.4nm用の周期長 $d=6.8$ nm( $d_{\text{Mo}}=2.3$ nm,  $d_{\text{Si}}=4.5$ nm)のMo/Si多層膜の場合、 $\Delta=0.2$ nmである。この等高線図のAAにおける断面を図15(b)に示す。図15(a)の等高線図に従って、高さの高い部分の多層膜を一層ずつ除去する。多層膜一層分の厚さは6.8nmだが、これを除去する加工を行うことによって、波長13.4nmの軟X線に対して、0.2nm相当の面形状の補正が出来る。図15(a)の中に記した数字は、等高線で区切られた各領域内で何層分の多層膜を除去すれば良いかを示したものである。例えば左よりの一番高さの高い領域では、多層膜を表面から3層分除去すればよい。このようにして補正した後の反射面の断面形状を図15(c)に示

す。補正後の面形状のPV値は、 $\Delta$ と同じ大きさにまで低減することが可能である。

【0027】使用波長で反射波面を測定する方法としては、例えば、シヤリング干渉法を使用することが出来る。図1は、シヤリング干渉法により多層膜反射鏡の反射波面形状を測定する配置図である。光源1から出た光線は、多層膜反射鏡2で反射した後、透過型回折格子3で波面を分割されて、画像検出器4へ入射する。画像検出器4上では、直進してきた0次光と、回折により進行方向が変わった $\pm 1$ 次回折光が、横ずらしして重ね合わせられ、これらの干渉縞が記録される。この干渉縞は面の傾きの情報を含んでおり、積分操作を行うことによって多層膜反射鏡2の反射波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0028】使用波長で反射波面を測定する別の方法として、PDI(Point Diffraction Interferometer)法を使用することもできる。図4は、PDI法により多層膜反射鏡の反射波面形状を測定する配置図である。光源1から出た光線は、多層膜反射鏡2で反射した後、透過型回折格子3で波面を分割される。集光点位置にはPDIプレート5が配置されている。PDIプレート5は、図6に示すように大きな開口51と微細なピンホール52が設けられている。回折格子3で分割された波面の内、0次光はピンホール52を通り、1次回折光が開口51を通るように、回折格子3のピッチと、ピンホール52と開口51の間隔が設定されている。ピンホール52を通過した光線は、回折により無収差の球面波を発生する。開口52を通過した光線は、多層膜反射鏡2の反射面の収差を含んだ波面である。画像検出器4上では、これらの波面を重ね合わせた干渉縞が観測される。この干渉縞から多層膜反射鏡2の反射波面形状を算出することが出来る。光源1には、可干渉性の高い光源が必要なので、放射光やX線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0029】使用波長で反射波面を測定する別の方法として、フーコーテストを使用することもできる。図7は、フーコーテストにより多層膜反射鏡の反射波面形状を測定する配置図である。光源1から出た光線は、多層膜反射鏡2で反射した後、画像検出器4へ入射する。集光点位置にはナイフエッジ6が配置されている。ナイフエッジ6を光軸に垂直に動かした時の画像検出器4に現れるパターンの変化によって、多層膜反射鏡2の反射波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用す

ることが出来る。

【0030】使用波長で反射波面を測定する別の方法として、ロンキーテストを使用することもできる。図9は、ロンキーテストにより多層膜反射鏡の反射波面形状を測定する配置図である。光源1から出た光線は、多層膜反射鏡2で反射した後、画像検出器4へ入射する。集光点位置にはロンキー格子7が配置されている。ロンキー格子7は、図11に示すように細長い矩形開口部71を複数設けた遮光板である。画像検出器4上には、光学系の収差に応じた縞模様72が現れるので、これを解析することによって多層膜反射鏡2の反射面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0031】使用波長で反射波面を測定する別の方法として、ハルトマン法を使用することもできる。図12は、ハルトマン法により多層膜反射鏡の反射波面形状を測定する配置図である。光源1から出た光線は、多層膜反射鏡2で反射した後、画像検出器4へ入射する。多層膜反射鏡2の直前には、図14に示すように、多数の小さな開口81を設けたプレート8が設けられている。画像検出器4上には各開口81に対応する光束が入射するが、その位置ずれから多層膜反射鏡2の反射波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0032】ハルトマン法を改良した測定手法として、可視光領域で最近よく使用されている計測手法にシャックハルトマン法がある。これは、穴の空いたプレートを

用いる代わりに、マイクロレンズアレイを光学系の瞳位置に配置する方法である。軟X線領域でも、ゾーンプレートアレイを使用すれば、このようなシャックハルトマン法による反射波面形状の測定も可能である。

【0033】上記のような干渉計測法を用いても測定精度が不十分で、多層膜反射鏡の反射波面を使用波長で測定することが困難な場合には、多層膜反射鏡を用いた軟X線光学系を一旦組み立てて、光学系の透過波面を使用波長で測定する方法を用いることが出来る。光学系の透過波面を測定する方が、単体の多層膜反射鏡の面形状を測定するよりも、下記の点で容易である。1) 一般に軟X線光学系では非球面を用いることが多い。非球面の測定は球面の測定よりも困難である。非球面を用いた光学系であっても、その透過波面は球面波なので測定は容易になる。2) 数式1に示したように、光学系の波面収差許容値WFEは、多層膜反射鏡の形状誤差の許容値FEよりも大きいので、その測定は容易である。

【0034】測定した透過波面から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出す

ることが出来る。その後の手順は、多層膜反射鏡単体の反射波面形状を測定した場合と同様である。使用波長で透過波面を測定する方法としては、例えば、シャリング干渉法を使用することが出来る。図3は、シャリング干渉法により軟X線光学系の透過波面を測定する配置図である。光源1から出た光線は、軟X線光学系20を通過した後、透過型回折格子3で波面を分割されて、画像検出器4へ入射する。画像検出器4上では、直進してきた0次光と、回折により進行方向が変わった±1次回折光が、横ずらしして重ね合わせられ、これらの干渉縞が記録される。この干渉縞は面の傾きの情報を含んでおり、積分操作を行うことによって軟X線光学系20の透過波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0035】使用波長で透過波面を測定する別の方法として、PDI (Point Diffraction Interferometer) 法を使用することもできる。図5は、PDI法により軟X線光学系の透過波面を測定する配置図である。光源1から出た光線は、軟X線光学系20を通過した後、透過型回折格子3で波面を分割される。集光点位置にはPDIプレート5が配置されている。PDIプレート5は、図6に示すように大きな開口51と微細なピンホール52が設けられている。回折格子3で分割された波面の内、0次光はピンホール52を通り、1次回折光が開口51を通るように、回折格子3のピッチと、ピンホール52と開口51の間隔が設定されている。ピンホール52を通過した光線は、回折により無収差の球面波を発生する。開口52を通過した光線は、軟X線光学系20の反射面の収差を含んだ波面である。画像検出器4上では、これらの波面を重ね合わせた干渉縞が観測される。この干渉縞から軟X線光学系20の透過波面形状を算出することが出来る。光源1には、可干渉性の高い光源が必要なので、放射光やX線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0036】使用波長で透過波面を測定する別の方法として、フーコーテストを使用することもできる。図8は、フーコーテストにより軟X線光学系の透過波面を測定する配置図である。光源1から出た光線は、軟X線光学系20を通過した後、画像検出器4へ入射する。集光点位置にはナイフエッジ6が配置されている。ナイフエッジ6を光軸に垂直に動かした時の画像検出器4に現れるパターンの変化によって、軟X線光学系20の透過波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用する



ことが出来る。

【0037】使用波長で透過波面を測定する別の方法として、ロンキーテストを使用することもできる。図10は、ロンキーテストにより軟X線光学系の透過波面を測定する配置図である。光源1から出た光線は、軟X線光学系20を通過した後、画像検出器4へ入射する。集光点位置にはロンキー格子7が配置されている。ロンキー格子7は、図11に示すように細長い矩形開口部71を複数設けた遮光板である。画像検出器4上には、光学系の収差に応じた精模様が現れるので、これを解析することによって軟X線光学系20の透過波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0038】使用波長で透過波面を測定する別の方法として、ハルトマン法を使用することもできる。図13は、ハルトマン法により軟X線光学系の透過波面を測定する配置図である。光源1から出た光線は、軟X線光学系20を通過した後、画像検出器4へ入射する。多層膜反射鏡2の直前には、図14に示すように、多数の小さな開口81を設けたプレート8が設けられている。画像検出器4上には、各開口81に対応する光束が入射するが、その位置ずれから軟X線光学系20の透過波面形状を算出することが出来る。光源1には、放射光、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源、X線レーザーなどを使用することが出来る。画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCDやイメージングプレートなどを使用することが出来る。

【0039】ハルトマン法を改良した測定手法として、可視光領域で最近よく使用されている計測手法にシャックハルトマン法がある。これは、穴の空いたプレートをを用いる代わりに、マイクロレンズアレイを光学系の瞳位置に配置する方法である。軟X線領域でも、ゾーンプレートアレイを使用すれば、このようなシャックハルトマン法による透過波面形状の測定も可能である。なお、ここでは主としてEUVリソグラフィで使われる波長13.4nmのMo/Si多層膜について説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、他の波長域、他の多層膜材料に対しても有効に適用できることは言うまでもない。

#### 【0040】実施例1

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要があるため、このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を

形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、各ミラーの反射波面形状を、波長13.4nmで図1に示すようなシャリング干渉法により測定した。光源1には、レーザープラズマ光源を用いた。この測定結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0041】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nmL&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0042】実施例2

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要があるため、このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、各ミラーの反射波面形状を、波長13.4nmで図4に示すようなPDI法により測定した。光源1には、放射光の挿入光源の一種であるアンジュレタ光源を用いた。この測定結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0043】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nmL&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0044】実施例3

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例に



ついて説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、各ミラーの反射波面形状を、波長13.4nmで図7に示すようなフーコーテストにより測定した。光源1には、放電プラズマ光源を用いた。この測定結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0045】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nm&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0046】実施例4

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、各ミラーの反射波面形状を、波長13.4nmで図9に示すようなロンキーテストにより測定した。光源1には、X線レーザーを用いた。この測定結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0047】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで

波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nm&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0048】実施例5

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、各ミラーの反射波面形状を、波長13.4nmで図12に示すようなハルトマン法により測定した。光源1には、レーザープラズマ光源を用いた。この測定結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0049】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nm&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0050】実施例6

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、これらのミラーを鏡筒内部に取り付けて透過波面を測定しながら、波面収差が最小になるように調整

を行った。透過波面の測定は、波長13.4nmで図3に示すようなシャリング干渉法により行った。測定用の光源には、レーザープラズマ光源を用いた。測定した波面収差から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出した。この結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0051】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nmL&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0052】実施例7

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、これらのミラーを鏡筒内部に取り付けて透過波面を測定しながら、波面収差が最小になるように調整を行った。透過波面の測定は、波長13.4nmで図5に示すようなPDI法により行った。測定用の光源には、放射光光源の挿入光源の一種であるアンジュレータ光源を使用した。測定した波面収差から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出した。この結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0053】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テス

トを行った。30nmL&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0054】実施例8

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、これらのミラーを鏡筒内部に取り付けて透過波面を測定しながら、波面収差が最小になるように調整を行った。透過波面の測定は、波長13.4nmで図3に示すようなフーコーテストにより行った。測定用の光源には、レーザープラズマ光源を用いた。測定した波面収差から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出した。この結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0055】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために十分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nmL&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0056】実施例9

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要がある。このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、これらのミラーを鏡筒内部に取り付けて透過波面を測定しながら、波面収差が最小になるように調整

を行った。透過波面の測定は、波長13.4nmで図10に示すようなロンキーテストにより行った。測定用の光源には、放電プラズマ光源を用いた。測定した波面収差から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出した。この結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基付いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0057】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために充分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nm&Sの微細なパターンまで解像することが出来た。

#### 【0058】実施例10

本発明をEUV露光装置の投影光学系に適用した実施例について説明する。投影光学系は6枚の非球面ミラーから構成されており、開口数(NA)が0.25、倍率が1/4でリングフィールド状の露光領域を有している。まず、従来の研磨加工技術により各非球面ミラーを製作した。各ミラーの形状精度は0.5nmRMSであった。これらを組み立てて得られる波面収差は2.4nmRMSである。波長13.4nmで使用するためには、波面収差は1nmRMS程度以下に抑える必要があるため、このままではミラーの形状精度が不足である。次に、各非球面ミラーの反射面にMo/Si多層膜を形成した。まず、周期長6.8nmの多層膜を50層積層した。多層膜はイオンビームスパッタリングにより成膜した。次に、これらのミラーを鏡筒内部に取り付けて透過波面を測定しながら、波面収差が最小になるように調整を行った。透過波面の測定は、波長13.4nmで図13に示すようなハルトマン法により行った。測定用の光源には、X線レーザーを用いた。測定した波面収差から、光学設計ソフトウェアを用いて、各ミラーの反射面形状の補正量を算出した。この結果に基づき、各ミラーの図15に一例を示すような等高線図を作成した。等高線の間隔は、多層膜を一層対除去したときの反射面形状の補正量に等しい0.2nmとした。この等高線図に基付いて、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面の補正を行った。各ミラーの補正を行ったところ、形状精度を0.15nmRMSに低減することが出来た。

【0059】これらのミラーを鏡筒機構内に組み込んで波面収差が最小になるよう調整を行ったところ、波面収差を0.8nmRMSにすることが出来た。これは回折限界の結像性能を得るために充分な値である。このようにして製作した投影光学系をEUV露光装置に組み込んで露光テストを行った。30nm&Sの微細なパターンまで解像するこ

とが出来た。尚、本発明の軟X線光学系及びそれを用いた露光装置の概念図を図16に記した。図中IR1~IR4は照明系の反射鏡であり、PR1~PR4は投影系の反射鏡である。

#### 【0060】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、多層膜の表面を一層ずつ除去して反射波面形状を補正する方法において、補正の単位量を従来よりも小さくすることができ、より精度の高い波面補正が可能になり、光学系の波面収差を低減して結像特性を向上することが出来る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】多層膜反射鏡の反射波面形状をシャリング干渉計で測定する配置図。

【図2】多層膜の表面除去による反射波面位相補正の原理を説明する図。

【図3】軟X線光学系の透過波面をシャリング干渉計で測定する配置図。

【図4】多層膜反射鏡の反射波面形状をPDIで測定する配置図。

【図5】軟X線光学系の透過波面をPDIで測定する配置図。

【図6】PDIプレートの図。

【図7】多層膜反射鏡の反射波面形状をフーコーテストで測定する配置図。

【図8】軟X線光学系の透過波面をフーコーテストで測定する配置図。

【図9】多層膜反射鏡の反射波面形状をロンキーテストで測定する配置図。

【図10】軟X線光学系の透過波面をロンキーテストで測定する配置図。

【図11】ロンキーテストに使用する格子の図。

【図12】多層膜反射鏡の反射波面形状をハルトマン法で測定する配置図。

【図13】軟X線光学系の透過波面をハルトマン法で測定する配置図。

【図14】ハルトマン法に使用するプレートの図。

【図15】反射面形状の測定値から補正量を算出する手順を説明する図。

【図16】本願発明を適用するに好適な軟X線の光学系を有する露光装置。

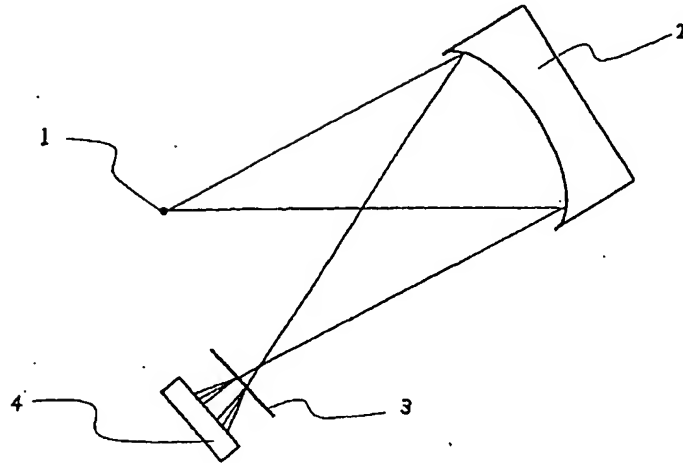
#### 【符号の説明】

- 1・・・光源
- 2・・・多層膜反射鏡
- 20・・・軟X線光学系
- 3・・・透過型回折格子
- 4・・・画像検出器
- 5・・・PDIプレート
- 51・・・開口
- 52・・・ピンホール

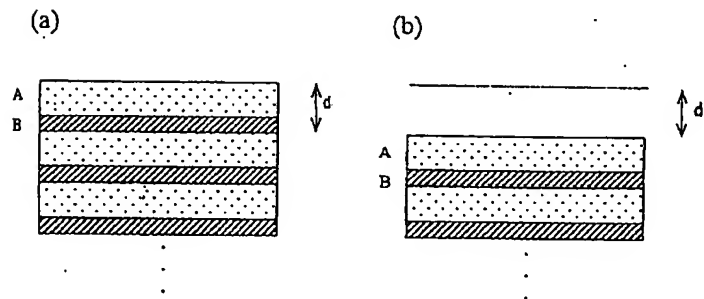
19  
6・・・ナイフエッジ  
7・・・ロンキーテスト用格子  
71・・・開口  
8・・・ハルトマン法用プレート  
81・・・開口  
L・・・プラズマ励起用のレーザ

S・・・発光源  
C・・・コンデンサ ミラー  
IR1～IR4・・・照明系の反射鏡  
IP1～IP4・・・投影系の反射鏡  
M・・・マスク (レチクル)  
W・・・ウェハ

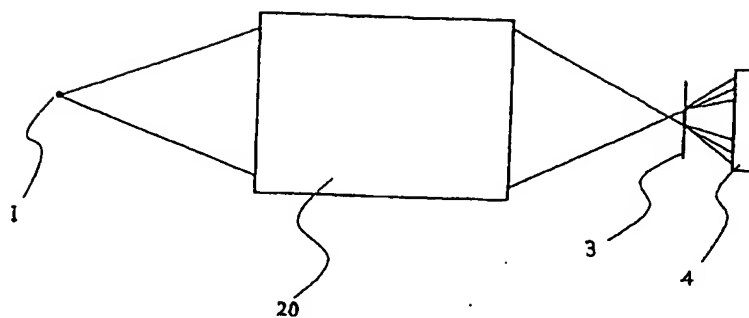
【図1】



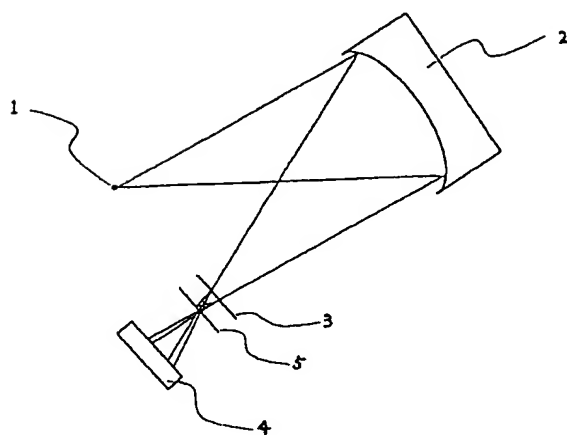
【図2】



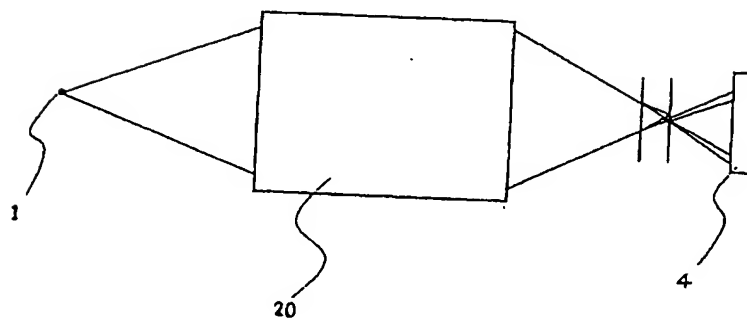
【図3】



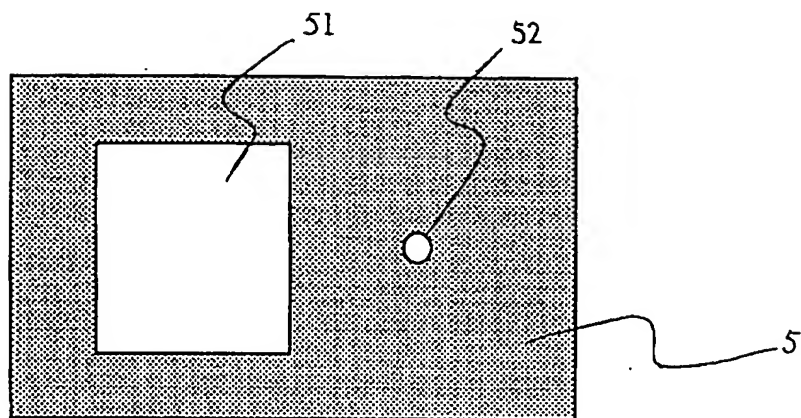
【図4】



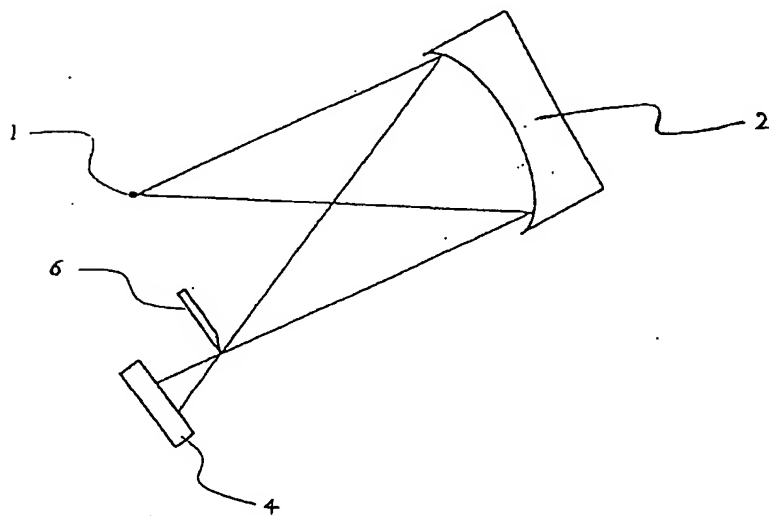
【図5】



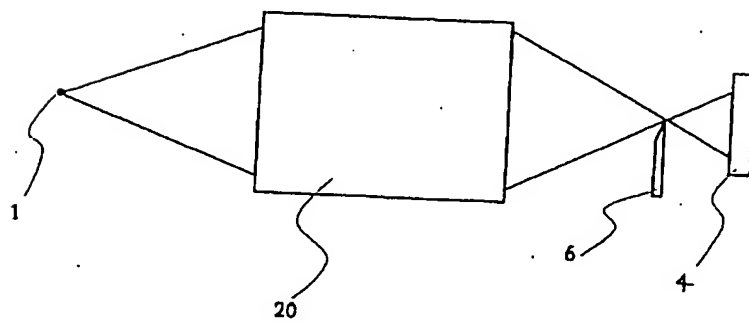
【図6】



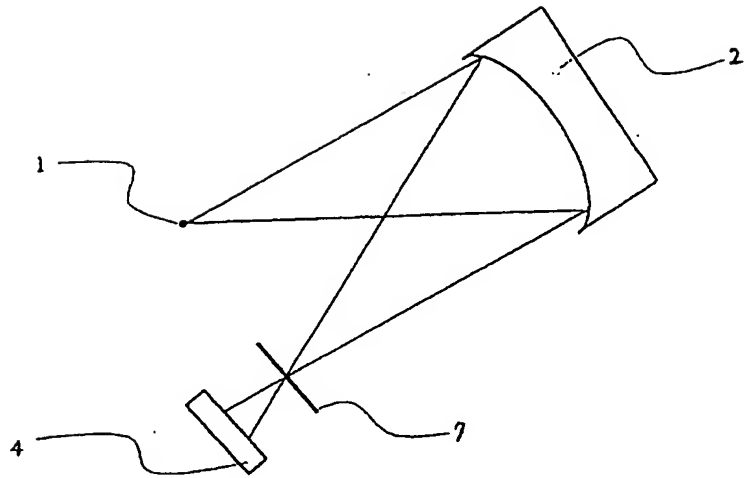
【図7】



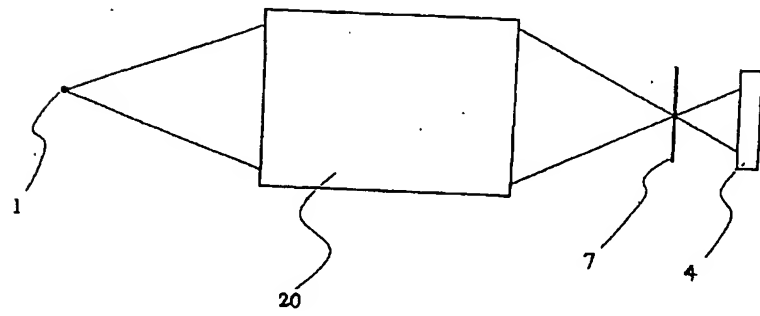
【図8】



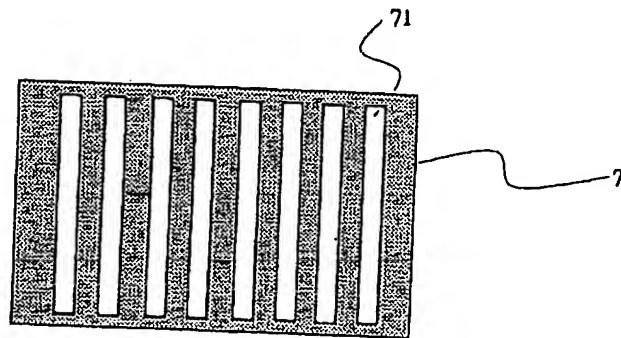
【図9】



【図10】

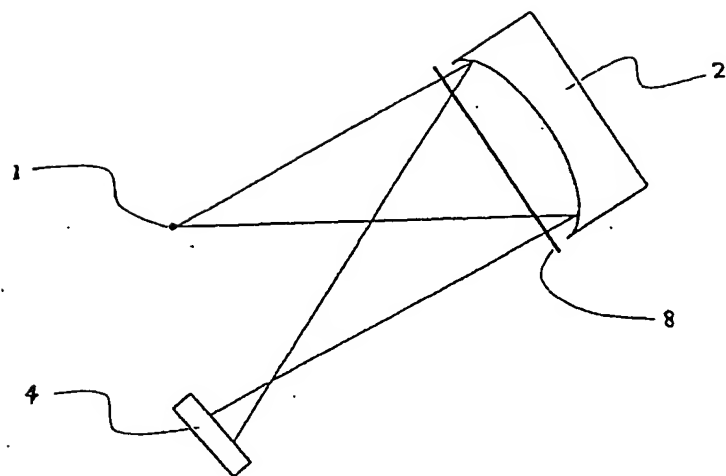


【図11】

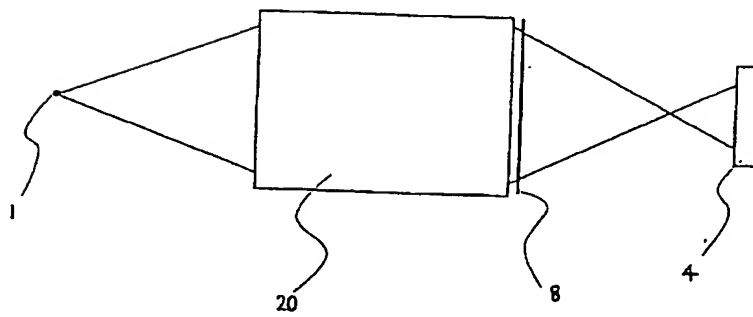




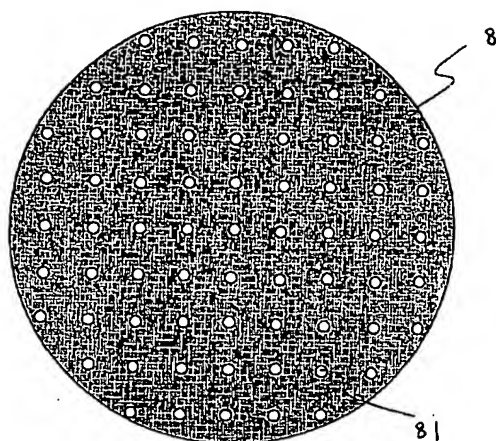
【図12】



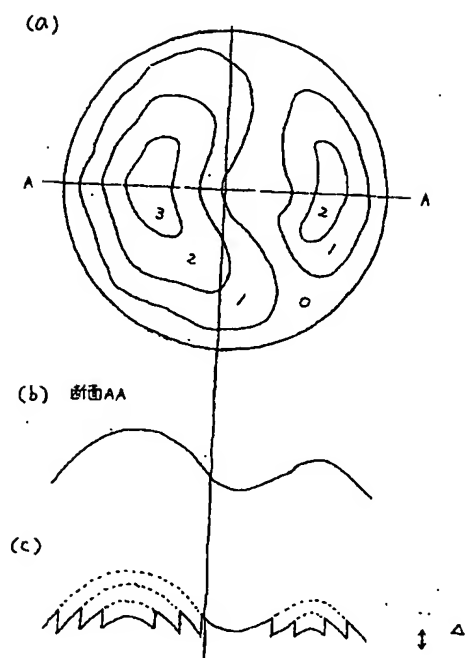
【図13】



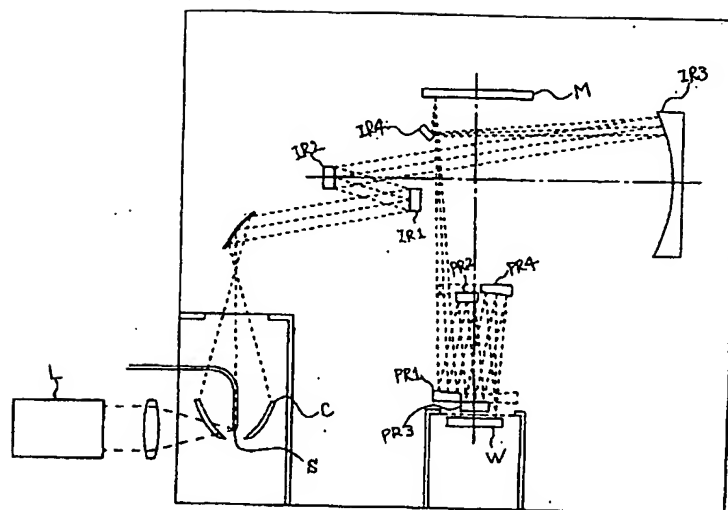
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード(参考)
G 0 2 B 5/10		G 2 1 K 5/02	X
G 2 1 K 5/02		G 0 1 B 11/24	D
H 0 1 L 21/027			Z
		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**